

特色专题

全球海洋大科学装置建设现状与启示

魏艳红¹, 张涛^{2*}, 王金平^{3*}, 薛明媚¹, 郑军卫¹

摘要 通过梳理全球主要的科考船、深潜器、海底观测网、海洋钻井平台和海洋卫星等海洋大科学装置的建设情况、发展趋势和特点, 以期为中国海洋大科学装置的建设、发展、管理和运行维护等方面提供借鉴与参考。针对中国海洋大科学装置建设存在立项难度大、设施运行效率低、经费支持不稳定等问题, 从加强顶层设计、保障经费支持、强化产研结合、发挥设施潜能及打造创新生态共 5 个方面提出建议。

关键词 海洋大科学装置; 国家基础设施; 海洋战略; 海洋科学技术

21 世纪是海洋世纪, 全球主要海洋国家都将大力发展海洋科技与海洋经济、保护海洋环境和维护海洋权益列为本国的重大发展战略, 积极推行新一轮海洋科技政策和战略调整。海洋大科学装置作为现代海洋科学技术诸多领域取得突破的必要条件, 是国家为解决重大海洋科技前沿中的战略性、基础性和前瞻性问题, 谋求重大突破而投资建设的大型海洋研究设施, 是国家基础设施的重要组成部分。

作为国家海洋领域科研基础设施水平和装备制造能力的集中体现, 海洋大科学装置是促进海洋经济全面、协调、可持续发展必不可少的科技基础设施, 也是建立具有强大国际竞争力的国家大型海洋科研基地的重要条件, 并成为众多海洋高新技术发展和创新的摇篮。世界主要海洋国家的尖端海洋科技水平和强大国际竞争力在很大程度上是通过一批高水平的海洋大科学装置实现的, 这也成为凝聚精干海洋科研群体和培养高水平海洋科技人才的基地, 是一个国

家海洋综合科技实力和创新能力的重要标志。因此, 各主要海洋国家在制定国家海洋科学技术发展长远规划和创新体系发展战略时, 都把海洋大科学装置作为战略措施, 通过长期的稳定运行和持续的科学技术活动来实现重要的科学技术目标。本文重点梳理了全球主要海洋大科学装置的类型、发展趋势和特点, 以期为中国海洋大科学装置的建设、发展、管理和运行维护等方面提供借鉴与参考。

1 海洋大科学装置的主要类型

海洋是科技创新的重要领域, 全球海洋科学技术的重要突破和重大科技成果的产出主要取决于海洋大科学装置的发展水平。作为海洋领域重大原始创新的重要载体, 海洋大科学装置在近几十年蓬勃发展, 成为全球海洋强国争相布局的重点。本文详细介绍了科考船、深潜器、海底观测网、海洋钻井平台和海洋卫星等海洋大科学装置的建设现状。

1.1 科考船

科考船是指用于调查研究海洋水文、地质、气象、生物等特殊任务的船舶, 如美国亚特兰蒂斯号

1. 中国科学院西北生态环境资源研究院, 兰州 730000

2. 中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037

3. 中国科学院海洋研究所, 青岛 266000

收稿日期: 2023-10-10; 修回日期: 2023-12-13

基金项目: 中国科学院文献情报能力建设专项课题(E1290423, E2290431)

作者简介: 魏艳红, 助理研究员, 研究方向为海洋生态环境战略与政策研究, 电子信箱: weiyh@lzb.ac.cn; 张涛(通信作者), 研究员, 研究方向为海洋资源调查与开发相关战略研究, 电子信箱: ztdrc@sina.com; 王金平(共同通信作者), 副研究员, 研究方向为海洋科技战略研究, 电子信箱: wangjp@qdio.ac.cn

引用格式: 魏艳红, 张涛, 王金平, 等. 全球海洋大科学装置建设现状与启示[J]. 科技导报, 2025, 43(5): 64-78; doi:[10.3981/j.issn.1000-7857.2023.10.01521](https://doi.org/10.3981/j.issn.1000-7857.2023.10.01521)

(R/V Atlantis)^[1]、英国詹姆斯库克号(RRS James Cook)^[2]和澳大利亚调查员号(RV Investigator)^[3]等(图1)。其中,大洋钻探船作为全世界深海技术的集成,是目前在海底深部取样的唯一手段,国际上先后有美国的“格罗玛·挑战者号”“乔迪斯·决心号”和日本的“地球号”投入大洋钻探计划。然而,欧洲的“特定任务平

台”并没有固定的钻探设备,而是根据不同科学任务临时租用相应的钻探平台。近年来,多国也纷纷加强破冰船的建设与运用,目前,全球在役的极地破冰船主要集中在俄罗斯、加拿大、芬兰、瑞典、美国、丹麦和中国等国家。其中,俄罗斯是全球拥有破冰船数量最多、技术最先进、极地作业能力最强的国家。



图1 典型科考船

根据美国联邦海洋学设施委员会(FOFC)的海洋科考船分级规则,按照船的大小、续航能力及调查能力一般可分为全球级(global)、大洋级(ocean)、区域级(regional)和近岸级(coastal)。本文主要统计了各个国家和地区的全球级和大洋级科考船,其中美国拥有世界上数量最多、设备最先进的海洋科考船队,全球级和大洋级科考船各有16、23艘;欧洲的科考船队同样数量庞大、设备先进,如英国和法国各有大洋级科考船3、4艘,德国拥有全球级新型综合科考船^[4]。全球主要大科学装置型科考船的数量情况如图2所示^[5-6],目前统计到的排水量2000 t以上的科考船共计108艘,主要集中在美国、中国、欧洲和加拿大这4个国家和地区,2000 t以上的科考船数量占统计总数的90.7%,其中2000~3000 t、3000~5000 t和5000 t以上的科考船分别占统计数量的31.5%、38.9%

和29.6%。美国大科学装置型科考船主要以2000~3000 t为主,占统计数量的59.0%;欧洲、日本和中国以3000~5000 t和5000 t以上的为主,分别占95.0%、100%和84.6%;加拿大以2000~3000 t和5000 t以上的为主,占76.9%;澳大利亚、俄罗斯均以5000 t以上的大型科考船为主。这些吨位大于2000 t的科考船是海洋大科学装置的重要组成部分。

1.2 深潜器

深潜技术是征服海洋的必要手段,潜水器作为海底科考的必要工具和载体,受到越来越多的关注。深潜器可以完成多种复杂任务,包括开展海洋物理、海洋化学和生物资源的调查与监测,深海石油和矿产资源的勘探与开发,检查及维修海底电缆、管路等^[7]。按照功能类别将深潜器主要分为载人潜水器(HOV)和无人潜水器(UUV)2大类。其中,无人潜水器又可分为遥控式潜水器(ROV)、自主式潜水器(AUV)和最新出现的混合型遥控潜水器(ARV/HROV),以及无动力潜水器等多种类型^[8]。

深海载人潜水器(潜深超1000 m)是海洋开发的前沿与制高点之一,发展以载人潜水器为代表的海洋大科学装置群成为海洋强国的普遍共识。本研究根据不同功能类别深潜器的特点,将下潜深度超过1000 m的载人潜水器和超过4000 m的无人潜水器按照海洋大科学装置进行统计,具体如表1所示^[5,9]。据

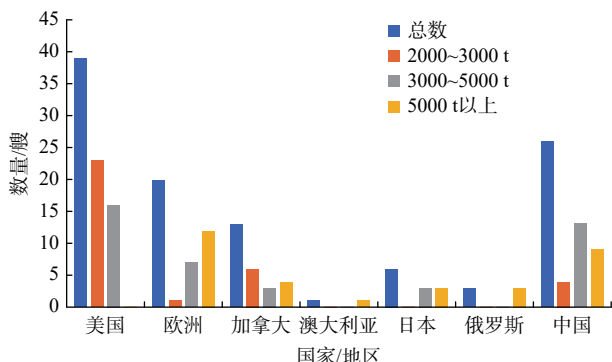


图2 全球主要大科学装置型科考船数量

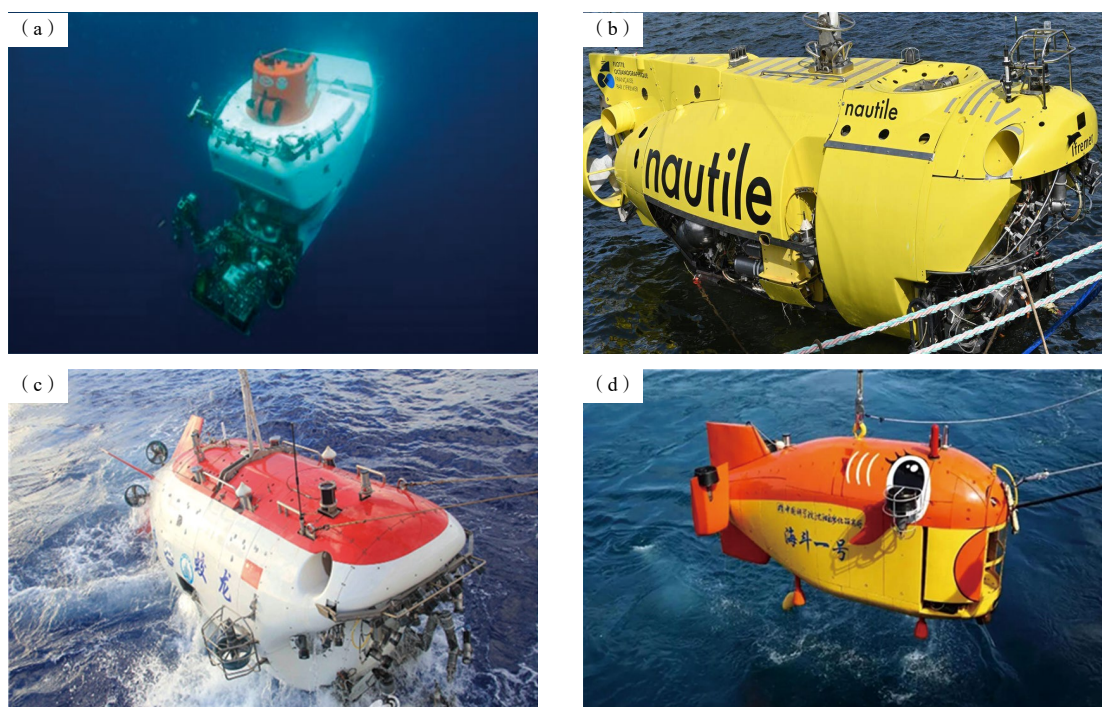
表 1 全球不同功能类别的大科学装置型潜水器

国家	机构	名称	工作深度/m	建成年份
美国	美国海军	“的里雅斯特”号载人潜水器(HOV Bathyscaphe Trieste)	10898	1951
	伍兹霍尔海洋研究所	“阿尔文”号载人潜水器(HOV Alvin)	6500	1964
	夏威夷水下研究实验室	Pisces IV 载人潜水器(HOV)	2000	1973
		Pisces V载人潜水器(HOV)	2000	1973
		“深海挑战者”号载人潜水器(HOV Deepsea Challenger)	11000	2011
	伍兹霍尔海洋研究所	“杰森/美狄亚”号遥控潜水器(ROV Jason/Medea)	6500	1988
		“海神”号混合型遥控潜水器(HROV Nereus)	6000~11000	2008
法国	法国海洋开发研究院	“鸚鵡螺”号载人潜水器(HOV Nautille)	6000	1984
		“胜利者6000”无人潜水器(UUV Victor 6000)	6000	—
德国	STN阿特拉斯电子设备公司	“深海C”自主式潜水器(AUV Deep C)	4000	2004
西班牙	ICTINEU Submarins SL的 潜水艇制造商	Ictineu 3载人潜水器(HOV)	1200	2015
葡萄牙	Foundation Rebikoff-Niggeier	LULA 1000载人潜水器(HOV)	1000	2011
英国	英国国家海洋学中心	Autosub 6000自主式潜水器(AUV)	6000	2007
加拿大	Nuytco Research公司	“深海路虎”载人潜水器(HOV Deep Rover)	1000	1984
		“深海工人3000”载人潜水器(HOV DeepWorker 3000)	1000	2006
日本	日本海洋科技中心	“深海6500”号载人潜水器(HOV Shinkai 6500)	6500	1989
俄罗斯	P.P.希尔绍夫海洋研究所	“和平 I”号载人潜水器(HOV Mir 1)	6000	1987
		“和平 II”号载人潜水器(HOV Mir 2)	6000	1987
	俄罗斯海军	“罗斯”号载人潜水器(HOV RUS)	6000	2011
		“领事”号载人潜水器(HOV Consul)	6000	2011
	中央海洋工程设计局	“勇士-D”号无人潜水器(UUV Vityaz-D)	12000	2020
中国	中国科学院深海科学与工程研究所	“蛟龙”号载人潜水器(HOV)	7062	2012
		“深海勇士”号载人潜水器(HOV)	4500	2017
		“奋斗者”号全海深载人潜水器(HOV)	10909	2020
	广州海洋地质调查局	“海马”号无人潜水器(ROV)	4500	2014
	上海交通大学	“海龙Ⅲ”号无人遥控潜水器(ROV)	6000	2017
		“海龙11000”万米级深海无人遥控潜水器(ROV)	11000	2018
		“海星6000”有缆遥控潜水器(ROV)	6000	2018
	中国科学院沈阳自动化研究所	“潜龙一号”无人自主潜水器(AUV)	6000	2013
		“潜龙二号”无人自主潜水器(AUV)	4500	2016
		“潜龙三号”无人自主潜水器(AUV)	4500	2018
	哈尔滨工程大学	“悟空”号无人自主潜水器(AUV)	10896	2021
	中国科学院沈阳自动化研究所	“探索4500”无人自主潜水器(AUV)	4500	2021
		“海斗”号全海深自主遥控潜水器(ARV)	10767	2016
		“海斗一号”全海深自主遥控潜水器(ARV)	10907	2020
	上海海洋大学	“彩虹鱼-I”号全海深无人潜水器(ARV)	11000	2016
		“逐梦”号全海深无人潜水器(ARV)	11000	2020
	上海交通大学	“思源”号全海深无人潜水器(ARV)	8072	2021

统计,目前在全球范围内可下潜至 6000 m 以上深度的载人潜水器(HOV)共有 12 艘,分别是美国的“阿尔文”号、“深海挑战者”号^[10]和“的里雅斯特”号,法国的“鸚鵡螺”号,日本的“深海 6500”号,俄罗斯的“和平 I/II”号、“领事”号和“罗斯”号,中国的“奋斗者”号、“蛟龙”号和“深海勇士”号。无人潜水器(UUV)作为

一种水下无人智能化平台,数量庞大且应用广泛。其中,遥控式潜水器(ROV)已超过 1000 艘,工作深度大于 5000 m 的有美国的“杰森/美狄亚”号,中国的“海龙Ⅲ”号、“海龙 11000”和“海星 6000”等;自主式潜水

器(AUV)工作深度达到 6000 m 的有英国的“Autosub 6000”,中国的“潜龙一号”和“悟空”号等;自主遥控潜水器(ARV)下潜深度超过 8000 m 的有中国的“思源”号、“海斗”号、“海斗一号”和“逐梦”号等(图 3)。



(a) 阿尔文号; (b) 鹦鹉螺号; (c) 蛟龙号; (d) 海斗一号

图 3 代表性深潜器

美国是较早开展载人深潜的国家之一,在自主式潜水器方面处于国际领先地位,而日本则在深海潜水器研制方面处于国际先进水平。相较于美国、日本,俄罗斯拥有目前世界上数量最多的大深度载人潜水器,同样具备强大的载人潜水器研制及应用能力。在载人潜水器研制方面,欧洲地区也具备雄厚的基础,主要以法国、德国和英国为核心^[9]。中国在 2010 年之后进入深潜器自主创新的快速发展期,一举成为全球少数几个具备深海 HOV 建设、科考应用和保障能力的国家之一;在 ROV 领域具备自主设计、制造、应用与维护能力,已形成自主可控的深海作业级 ROV 技术体系;在 AUV 领域已形成全海深系列化装备体系,主要性能指标接近国际同类水平;在 ARV 领域,中国成为继美国和日本之后第 3 个拥有万米级自主遥控潜水器研制能力的国家^[11]。另外,在载人潜水器的基础上发展了新一代居住型深海作业平台——深海空间站,可执行水下观察与探测、深海搜索与打捞、水

下指控与供能、海底取样与研究、水下施工与维修、水下监视与侦察等多种任务,具有长时间、全天候、大范围、大功率、载员多、不受洋面风浪条件影响等优势。1969 年,美国“NR-1”号核动力深海空间站开始服役,全长 45 m,排水量 400 t,最大潜深约 1000 m,可供 13 个人在海底工作 15~20 d。“NR-1”的主要任务是绘制海底地图,进行地质勘测、水下搜索、海洋研究等。2008 年 11 月 21 日,在投入使用近 40 年后,“NR-1”号被宣布退役并停止使用。2008 年,美国宣布新建 1 艘千吨级通用型“深海空间站”,将兼具 7 项军用使命和 9 项民用使命。

在 1986—2003 年,苏联/俄罗斯持续研发了 3 款 7 艘核动力深海空间站,1910 型(3 艘)采用钛合金材料,最大潜深约 700 m,正常排水量 1390 t,隶属北方舰队;1851 型(3 艘)于 1986 年交付部队,正常排水量约 730 t,具体数据保密;10831 型(1 艘)采用串联球壳结构,排水量 1600 t,最大潜深 6000 m,定员 25 人。

2013 年,俄罗斯针对拓展海洋权益与开发北冰洋油气资源的需要,启动了其通用型“深海空间站”的建造项目。挪威于 2012 年开始研发“北冰洋水下工作站”,将用于北极深水油气开发。从深海空间站发展历程来看,美俄两国虽起步早,但进程较为缓慢,取得的科研成果十分有限。相比之下,中国深海空间站发展较晚,但是后来者居上,目前已经处于世界领先水平。

1.3 海底观测网

海底观测网是人类观测海洋的新型平台,通过将各种观测仪器安装到海底,可实现由海底到海面的全天候、原位、长期、连续、实时、高分辨率和高精度观测,对海洋科学发展起到重要的支撑作用。海底观测网主要分为无缆锚系浮标系统和有缆观测网系统两大类,相比卫星遥感和调查船观测系统,海底观测网被形象地称为地球观测系统的第 3 个平台^[12]。

无缆锚系浮标系统作为整个海洋监测体系的重要一环,是海洋观测站、调查船和调查飞机在空间和时间上的延伸与扩展,也是离岸监测的重要手段。在 20 世纪 40 年代末,浮标技术首次得到应用,苏联、加拿大、法国和日本等相继加入浮标研究行列;60 年代初,美国海洋调查机构正式引入浮标系统,在主要海域布设浮标网络,且浮标布放数量逐年递增;70 年代,各国开始研制多功能观测型海洋浮标系统;80 年代中期,浮标技术发展成熟,广泛应用于海洋调查、科学研究、军事活动及海洋开发等方面^[13]。浮标主要分为漂流浮标和锚系浮标两大类。其中,漂流浮标根据工作深度的不同分为表层漂流浮标和次表层漂流浮标,表层漂流浮标一般由水帆、浮球和连接缆绳组成,放置于海面及海面下固定深度;次表层漂流浮标的浮体位于水下 1000~2000 m 的某一深度,测量相应深度的海流参数。目前在全球范围内发展最快、应用最广的是 Argo(array for real-time geostrophic oceanography)浮标^[14]。锚系浮标根据系泊方式的不同分为单锚系泊浮标和三锚系泊浮标,锚系技术是保证浮标在海洋环境下稳定准确测量和监测海洋环境的关键技术。目前,美国国家资料浮标中心共建成 106 个锚系资料浮标和 1100 多个合作监测站,可通过浮标和站点收集来实时传送观测数据。

有缆观测网系统遵循海洋科学与技术的协同发展,突破了传统海洋调查受观测时空尺度和传感器的

制约,解决了深海、极端环境下高分辨率和实时获取海洋观测数据的技术难题,可以深入到海洋内部观测和认识海洋^[15]。美国、日本、加拿大、澳大利亚以及欧洲各国凭借在海洋观测领域的优势,相继投入巨资开展海底观测网关键技术研究,已建成较大规模的海底观测网^[16]。日本是最早建立有缆观测网的国家,其 DONET(dense oceanfloor network system for earthquakes and tsunamis)系统和 S-net(seafloor observation network for earthquakes and tsunamis along the Japan trench)观测网主要实现对地震、海啸的实时观测和预警;美国和加拿大也是较早提出筹建海底观测网计划的国家,其中最为成熟的有加拿大的海王星(North-East Pacific time-series undersea networked experiments, NEPTUNE)和金星(Victoria experimental network under the sea, VENUS),以及美国的火星(Monterey accelerated research system, MARS)和 OOI(ocean observation initiative)海底观测网;澳大利亚集成海洋观测系统(integrated marine observing system, IMOS)共有 7 个国家参考站,主要用于近岸生物和物理海洋参数的长期监测^[17];欧洲 ESONET(European sea floor observatory network)海底观测网跨不同海区,具有各自的科学意义,而 EMSO(European multidisciplinary seafloor and water-column observatory)多学科海底观测计划以 ESONET 为基础,受经费、环境许可等因素的影响,该观测系统尚未完全建成,但部分测试点已在运行过程中,并获得了大量科研数据;中国于 2017 年正式立项“国家海底科学观测网”(China national scientific seafloor observatory, CNSO),作为中国海洋领域的第一个国家重大科技基础设施,将在东海和南海典型海域实现从海底、水层到海气界面的长期实时立体综合观测^[18],为深入认识东海和南海海洋环境的演变规律和变化机理提供长期连续的观测数据和原位科学实验平台,并带动和促进中国海洋技术和相关海洋装备的发展与应用。CNSO 建成后,将成为总体水平国际一流、综合指标国际先进的海底科学观测设施。进入 21 世纪以来,全球代表性的有缆海底观测网基本情况如表 2 所示。

1.4 海洋钻井平台

随着陆地资源的日益枯竭,全球各国都不约而同地将目光投向了海洋能源,海洋蕴藏着丰富的石油、天然气、可燃冰等能源,具有很高的开发利用价值,而

表 2 全球代表性的有缆海底观测网

国家/地区	机构	名称	基本情况	建成年份
加拿大	维多利亚大学	“金星”海底观测网(VENUS)	世界上首个可实时监测的海岸带海底光纤观测网	2006
		“海王星”海底观测网(NEPTUNE)	全球第一个区域性光缆连接的洋底观测试验系统	2009
美国	蒙特利海洋研究所	MARS海底观测网	为北美地区的海底设备验证提供加速平台	2002
	国家科学基金会	OOI 计划海底观测网	海洋研究集成观测网	2016
日本	东京大学	ARENA海洋水下监测网	沿日本海沟建造跨越板块边界的光缆连接观测网络	2003
	海洋研究开发机构	DONET1海底观测网	地震监测和海啸预警	2011
		DONET2海底观测网	地震监测和海啸预警	2015
	防灾科学技术研究所	S-net海沟海底地震海啸观测网	全球最长的海底光缆网	2015
欧洲	欧盟	ESONET海洋观测网	在北冰洋、大西洋、地中海和黑海等10个海区建立海底观测网联合体	2009
		EMSO海底观测网络	实现欧洲范围内深海多学科观测研究的集成	尚未完全建成
澳大利亚	国家合作研究基础设施战略	IMOS海洋观测系统	近岸生物和物理海洋参数长期监测的国家观测网络	2006
中国	同济大学	国家海底科学观测网(CNSSO)	在东海和南海典型海域实现从海底、水层到海气界面的长期实时立体综合观测	尚未完全建成

开采海洋能源需要海洋平台这种关键设备^[19]。海洋钻井平台为在海上进行钻井、采油、集运、观测、导航、施工等活动提供生产和生活设施的构筑物。按其结构特性和工作状态,可分为固定式、活动式和浮式3大类。固定式平台(fixed platform)由桩、扩大基脚或其他构造直接支撑并固着于海底,一般作业于固定海域,多为综合处理平台;活动式平台(mobile platform)浮于水中或支撑于海底,能从一个井位移至另一个井位实施钻修井作业;浮式平台(floating platform)既能固定在深水中,又具有可移性,其中半潜式生产平台、张力腿平台、深吃水单立柱平台为浮式平台,半潜式钻井平台、单柱体钻井平台、钻井船、钻井驳船为可移动浮式平台。

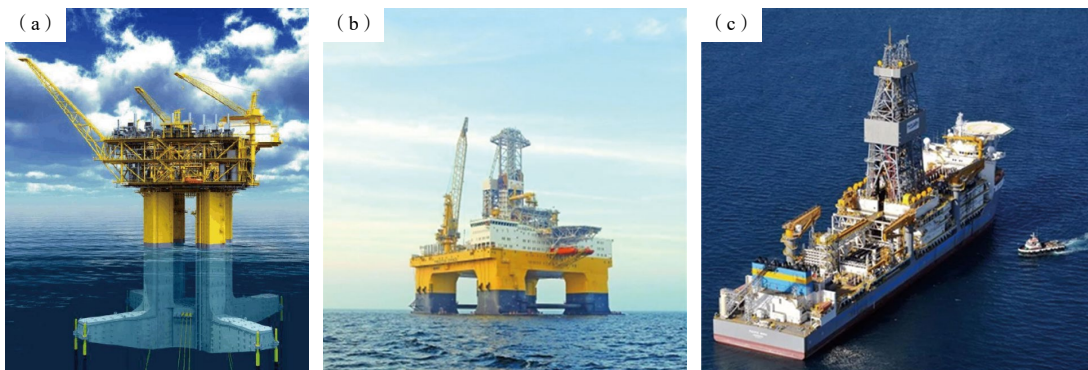
海洋钻井平台分别经历了20世纪70年代中期和80年代初期的2次建造高峰期,新世纪以来以张力腿、半潜式和浮船式等新型海洋平台的研究和建造尤为火热(图4)。目前,世界上使用最多的是自升式和半潜式钻井平台,多在北海和墨西哥湾工作。国外发达国家海洋平台的发展特点主要是:(1)在建海洋

平台数量大、增长快;(2)专业化程度相对较高,已经逐渐由传统海洋平台向新型海洋平台进行更新换代;(3)海洋平台适应水深已达到300~3000 m的深海水域;(4)各国石油公司对海洋平台建造的投资大^[20]。

表3为全球部分海洋平台的基本情况,其中美国、英国在20世纪70、80年代以导管架平台为代表,挪威主要是自升式和半潜式平台,而荷兰、俄罗斯和中国近年来主要以半潜式平台为主。

1.5 海洋卫星

海洋卫星是用于海洋遥感的地球观测卫星系列之一,装备海流、海浪、海面温度、湿度、风向、风速等自动观测仪器,全天候定时提供全球海洋信息。按用途可分为海洋水色卫星、海洋动力环境卫星和海洋综合探测卫星。其中,海洋水色卫星是探测海洋水色要素(如叶绿素、悬浮沙和可溶性的黄色物质等)和水温及其动态变化的卫星;海洋动力环境卫星是对海面风场、海面高度、浪场、流场以及温度场等动力环境要素进行探测的卫星;海洋综合探测卫星是对全球与近海(包括海岸带)的海洋动态环境和水色环境等综



(a) 张力腿平台; (b) 半潜式平台; (c) 浮船式平台

图4 新型海洋钻井平台类型

合信息进行监测的卫星。海洋卫星有效弥补了传统海洋观测手段的不足,基于多种遥感器连续对海洋观测,极大加深了人类对海洋的认识,在防灾减灾、资源开发、海洋维权、海洋生态和环境保护等诸多领域发挥着重要作用^[21]。

表4为全球主要国家或地区的海洋卫星发展情况,其中美国是最早发展海洋卫星技术的国家,近40年来发展了海洋环境卫星、海洋动力环境卫星和海洋水色卫星等不同类型的专用海洋卫星,如“海洋1号”(Seasat-1)、“雨云7号”(Nimbus-7)、“海星”(Seastar)和“克罗斯”(Coriolis)等,实现了从空间获取海洋水色和海洋动力环境信息的能力。欧洲则致力于发展综合探测型海洋卫星,如资源遥感卫星(ERS-1/2)、土壤湿度和海洋盐度卫星(SMOS)和“哨兵号”系列卫星等,同时欧洲也十分重视极地海冰的科学研究,“冷卫星”2号(CryoSat-2)可实现对极地冰层和海洋浮冰的精确监测。俄罗斯以实用型海洋系列卫星为主,具有代表性的如海洋-O1系列卫星(Okean-O1),用于海洋和极区冰况观测。德国、加拿大主要发展雷达卫星系列,日本先后发射了一系列海洋观测卫星,如先进地球观测卫星(ADEOS-1/2)、全球变化观测任务卫星(GCOM-W1/C),主要观测海洋水色、海洋温度和海风等。韩国、印度也发展了自己的专用海洋卫星,如通信、海洋和气象卫星(COMS)与海洋卫星(OceanSat-1/2)。中国自主研制和发射的海洋卫星系列,主要是海洋一号水色卫星、海洋二号动力环境卫星和海洋三号监视监测卫星。其他一些国家或地区共同研制的海洋卫星,也极大地推动了海洋遥感领域的发展,如俄罗斯与乌克兰合作研制的

“西奇”系列卫星(Sich-1/1M),可监测海冰、海平面风速和海洋水色等的变化;美国与欧洲共同研制的“哨兵6号”卫星(Sentinel-6)^[22],成为全球海平面测量的官方参考卫星;法国与印度联合研制的“萨拉尔”卫星(SARAL),则可执行精密重复的全球海面高度、有效波高和风速等的观测(图5)。由此可见,海洋卫星技术在海洋科学发展中发挥着重要作用,已成为各个国家和地区海洋研究的重要方向。

2 海洋大科学装置的发展趋势和特点

海洋大科学装置历来是全球海洋科学技术的制高点,主要海洋国家为推进大科学装置建设先后出台相应的发展战略规划,并制定发展指南和路线图。例如:2018年,美国国家科学技术委员会(NSTC)发布《海洋科技发展未来十年的愿景》报告,确定了2018—2028年美国海洋科技发展的研究需求与发展机遇,指出研究基础设施对国家在海洋科学方面的领导作用至关重要^[23];2020年,英国国家海洋学中心(NOC)发布《国家海洋设施(NMF)技术路线图2020—2021》,概述了英国当前的海洋设施能力,并对海洋科学的未来以及新技术进行了展望^[24];2021年,澳大利亚国家海洋科学委员会(NMSC)发布《国家海洋科学计划2015—2025:中期计划》,该报告指出为国家设施研究船提供资助,以维持科考船每年300天内的持续运营,并确保其成为最先进的研究平台^[25]。

2012年,党的十八大报告首次完整提出了中国海洋强国战略目标;2013年,中华人民共和国国务院发布《国家重大科技基础设施建设中长期规划(2012—

表 3 全球部分海洋钻井平台概况

国家	机构	名称	基本情况	建成年份
美国	斯克里普斯海洋学研究所	浮动水文观察平台 (FLIP)	世界上唯一的一个海上研究平台	1961
	壳牌公司	Cognac平台	世界第一座超过400英尺 (1英尺=0.3048 m) 的导管架, 作业水深312 m	1979
		Bullwinkle平台	世界最深的导管架, 作业水深412 m	1988
	Talos公司	Pompano平台	世界第二深的导管架, 作业水深396 m	1994
	壳牌公司	Ursa海洋平台	墨西哥海湾最大最深的平台, 水深为1226 m	1998
		Perdido Regional Host平台	最深石油开采纪录, 最深钻井和生产平台纪录	—
	沃尔特石油天然气公司	Coelacanth平台	世界第三深的导管架, 作业水深361 m	2016
	壳牌公司	鲸鱼号 (Whale FPU)	墨西哥湾半潜式深海钻井平台	2023
英国	Apache公司	Forties Alpha平台	四腿导管架平台	1975
		Forties Charlie 平台		
		Forties Bravo平台		
		Forties Delta平台		
		Forties Echo平台		
挪威	康菲石油公司	Ekofisk 2/4 B平台	钻采一体化平台	1974
		Ekofisk 2/4 C平台	综合性生产和压缩平台	1974
	Equinor公司	Statfjord A平台	混凝土重力式平台	1979
	康菲石油公司	Eldfisk B平台	综合集成了钻井设备、井口装置和加工处理设施	1979
	Equinor Energy公司	Statfjord B平台	混凝土结构平台	1982
	Gazflot公司	“Amazon”号	自升式钻井平台	1982
	North Atlantic Drilling	“West Venture”号	半潜式石油钻井平台	—
	Equinor公司	Troll A 深海天然气平台	高472 m, 重120万 t, 用于供应欧洲大陆	1996
Transocean Spitsbergen平台		第六代双井架半潜式钻井平台	2019	
荷兰	Huisman设备公司	“JBF Arctic”钻井平台 “Arctic S”钻井平台	可升降圆筒形半潜式钻井平台	—
俄罗斯	天然气工业股份公司	“Polar Star”号	柱稳半潜式钻井平台	2010
		“Northern Light”号		
	Gazflot公司	“Arkticheskaya”号	自升式钻井平台	2012
	天然气工业股份公司	“Prirazlomnaya”号	世界上第一个抗冰固定式石油平台	2013
新加坡	新加坡船东	R-550D型	自升式钻井平台	2016
中国	上海海洋石油局	“勘探三号”	海上半潜式石油钻井平台	1984
	中国海洋石油集团有限公司	“海洋石油981”	深水半潜式钻井平台	2012
	中集来福士	“维京龙”	深水半潜式钻井平台	2015
	南通中远船务	“希望7号”	圆筒型海洋生活平台	2015
	中海油田服务股份有限公司	“兴旺号”	深水半潜式钻井平台	2015
		“海洋石油943”	自升式钻井平台	2016
		“海洋石油982”	深水半潜式钻井平台	2017
	中集来福士	“蓝鲸1号”	超深水双钻塔半潜式钻井平台	2017
	中国海洋石油集团有限公司	“深海一号”	深水半潜式生产储油平台	2021
		“深蓝探索”	智能型深水钻井平台	2021
	上海海洋石油局	“勘探八号”	自升式钻井平台	2022

表 4 全球主要国家/地区的海洋卫星情况

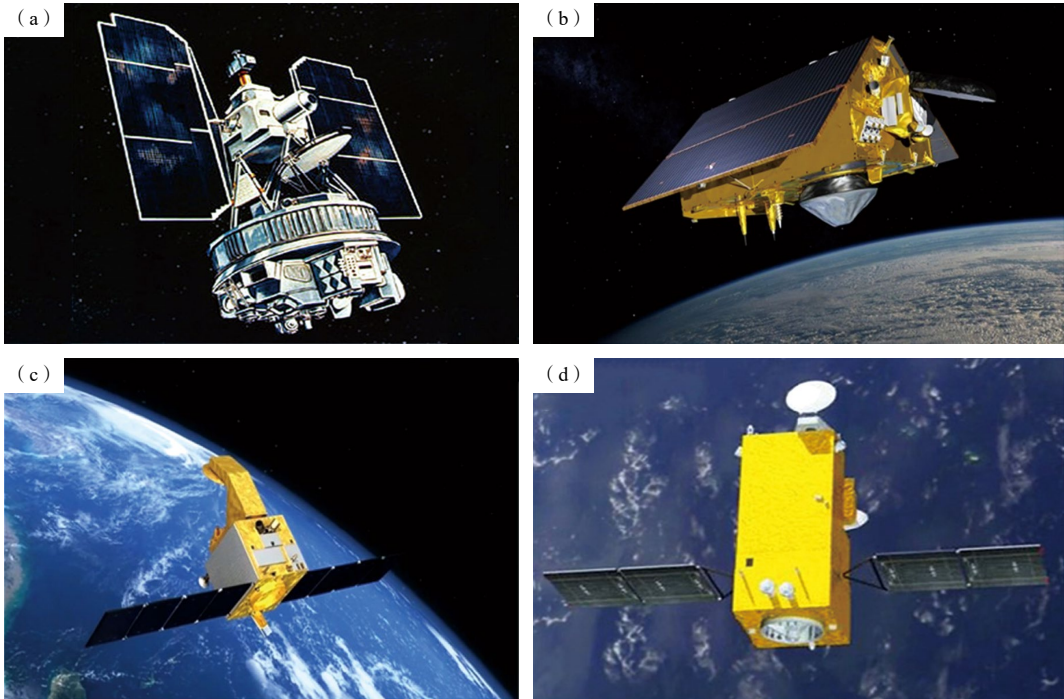
国家/地区	机构	名称	基本情况	运行情况	建成年份
美国	国防部	极轨系列卫星 (DMSP)	海况监测, 为海军行动保障提供信息	前5代退役, 6代部分在轨, 7代4颗在轨	1965年以来
	国家海洋和大气管理局	气象观测系列卫星 (NOAA)	可监测海洋表面温度, 提供昼夜图像	目前使用较多的是第五代, NOAA-15~19	1970年以来
	国家航空航天局	“海洋1号”卫星 (Seasat-1)	世界上第一颗海洋卫星, 是海洋观测进入空间遥感时代的主要标志	退役	1978
	通用电气公司	“雨云7号”卫星 (Nimbus-7)	搭载了世界上第一代海洋水色遥感器——海岸带水色扫描仪, 用于测量海洋和海岸带水色	退役	1978
	海军	测地卫星 (Geosat)	测量海洋大地水准面, 并提供海军作战所需海况和海风测量, 是首颗提供长期高质量测高数据的卫星	退役	1985
	轨道科学公司	“海星”卫星 (Seastar)	世界上第一颗专用海洋水色卫星	在轨	1997
	国家航空航天局	“快速散射计”卫星 (QUICKSCAT)	主要用来全天候连续、准确地测量、记录全球海洋风速和风向数据	退役	1999
		“水”卫星 (Aqua)	海洋水色卫星, 可进行海面风速测量, 地球观测系统(EOS)的重要组成部分	在轨	2002
	国防部	“克罗斯”卫星 (Coriolis)	可实现海面风场测量	—	2003
	国家海洋和大气管理局	“联合极轨1号”卫星 (JPSS-1)	提供全面精确的全球气象数据以及大气、陆地、海洋观测信息	在轨	2017
	国家航空航天局	“冰、云和陆地高程”卫星 (ICESat-1/2)	用于精确测量格陵兰岛和南极洲冰层厚度的变化	退役/在轨	2003/2018
欧洲		资源遥感卫星 (ERS-1/2)	监测全球海面风场、海浪动态情况及全球海平面变化等	退役	1991/1995
		环境卫星 (EnviSat)	可生成海洋、海岸和极地冰冠的高质量高分辨率图像	退役	2002
		土壤湿度和海洋盐度卫星 (SMOS)	世界上唯一能够同时观测海水盐度和土壤湿度变化的卫星	退役	2009
	空间局	“地球动力学和大地测量”卫星 (GOCE)	能够提供海洋重力场和海洋大地水准面的信息	退役	2009
		“冷卫星”2号 (CryoSat-2)	世界上第一个用于极地冰层、海洋浮冰及沿岸带海平面高度精确监测的卫星	在轨	2010
		“哨兵1号”卫星 (Sentinel-1A/1B)	监测北极海冰范围、海冰测绘、海洋环境监测	在轨/退役	2014/2016
		“哨兵2号”卫星 (Sentinel-2A/2B)	用于提供沿海地区的图像	在轨	2015/2017
		“哨兵3号”卫星 (Sentinel-3A/3B)	可测量海面地形、海面温度和海洋水色	在轨	2016/2018
	气象卫生组织	“气象业务”卫星 (MetOp-A/B/C)	可提供全球大气、海洋和陆地的详细监测资料	退役/在轨/在轨	2006/2012/2018
	俄罗斯 苏联军方	雷达型海洋监视卫星 (RORSAT)	通过电子侦察手段探测海上目标的位置、航向和航速	退役	1965年以来

表 4 全球主要国家/地区的海洋卫星情况 (续)

国家/地区	机构	名称	基本情况	运行情况	建成年份
俄罗斯	机电科学研究所	“流星”系列卫星 (Meteor)	可开展海洋综合观测	目前已发展4代, Meteor-M在轨	1969年以来
德国	宇航中心	“X频段陆地合成孔径雷达”卫星 (TerraSAR-X)	可应用于海洋和沿海区域观测, 利用雷达观测两极地区	退役	2007
加拿大	航天局	雷达卫星系列 (RADARSAT-1/2)	主要用于海冰类型识别和海岸线监测	退役/在轨	1995/2007
	政府	雷达卫星星座任务 (RCM-1/2/3)	用于北极海冰监测和气候研究	在轨	2019
日本	地球观测中心	海洋观测卫星 (MOS-1a/1b)	主要观测海洋水色和海洋温度, 准确预报海洋天气	退役	1987/1990
	宇宙开发事业团	先进地球观测卫星 (ADEOS-1/2)	全球海洋变化和海风监测	退役	1996/2002
	宇宙航空研究开发机构	全球变化观测任务卫星 (GCOM-W1/C)	可观测海风、海表温度及海洋水色	在轨	2012/2017
韩国	空间局	“阿里郎”系列卫星 (KOMPSAT-1/5/3A)	可监测全球水色, 服务于海洋生物学的研究	退役/在轨/在轨	1999/2013/2015
	科技部等	通信、海洋和气象卫星 (COMS)	用于提供朝鲜半岛及周边区域的气象和海洋监测	在轨	2010
印度	航天局	海洋卫星 (OceanSat-1/2/3)	用于海洋环境探测, 测量海面风和海表层, 监控浮游植物	退役/退役/在轨	1999/2009/2022
	空间研究组织	气象卫星 (ScatSat-1)	用于海洋、气候相关研究	在轨	2016
中国	国家海洋局	海洋一号水色卫星系列 (HY-1A/1B/1C/1D)	用于海洋水色水温环境探测	HY-1D在轨	2002/2007/2018/2020
		海洋二号动力环境卫星系列 (HY-2A/2B/2C/2D)	用于海洋动力环境探测	HY-2B/2C/2D在轨	2011/2018/2020/2021
	航天科技集团公司五院	海洋三号监视监测卫星系列 (GF3-01/02/03)	实现全天时、全天候海面目标与环境监测	在轨	2016/2021/2022
俄罗斯/乌克兰	—	海洋-O1系列卫星 (Okean-O1)	用于海洋和极区冰况观测	第3代, 退役	1979年以来
		新型海洋卫星系列 (Okean-O)	用于海洋资源探测	第4代, 退役	1997年以来
		“西奇”系列卫星 (Sich-1/1M/2)	监测海冰、海平面风速和海洋水色	退役	1995/2004/2011
美国/日本/加拿大	—	“土”卫星 (Terra)	海洋水色卫星, 可采集海洋信息, 地球观测系统 (EOS) 计划中第一颗装载有MODIS传感器的卫星	在轨	1999
美国/欧洲	—	“哨兵6号”卫星 (Sentinel-6)	全球海平面测量的官方参考卫星	在轨	2020

表 4 全球主要国家/地区的海洋卫星情况 (续)

国家/地区	机构	名称	基本情况	运行情况	建成年份
美国/法国/ 英国/ 加拿大	—	“地表水和海洋地形”卫星(SWOT)	通过获取高精度、高空间分辨率的海洋表面高度,监测海洋变化	在轨	2022
美国/法国	—	“托佩克斯/海神”卫星(Topex/Poseidon)	以前所未有的海平面测高精度对全球海洋进行了长达13年的高效观测	退役	1992
		“贾森”号系列卫星(Jason-1/2/3)	测量海洋表面地形和海平面变化	退役/退役/在轨	2001/2008/ 2016
法国/印度	—	“萨拉尔”卫星(SARAL)	执行精密重复的全球海面高度、有效波高和风速等的观测	在轨	2013
阿根廷/ 美国	—	科学应用卫星-D(SAC-D)	用于观测全球海洋表面盐分、研究海洋环流	退役	2011
中国/法国	—	中法海洋卫星(CFOSAT)	获取全球海面波浪谱、海面风场、南北极海冰信息	在轨	2018



(a) 雨云7号; (b) 哨兵6号; (c) 中法海洋卫星; (d) 海洋二号D卫星

图 5 代表性海洋卫星
(图片来源: 卫星百科)

2030 年)》^[26], 提出建设海洋领域两大国家重大科技基础设施, 建成海洋科学综合考察船以满足综合海洋环境观测、探测以及保真取样和现场分析需求, 建设海底科学观测网为国家海洋安全、资源与能源开发、环境监测和灾害预警预报等研究提供支撑; 2017 年, 党的十九大报告明确指出我国要坚持陆海统筹, 加快建设海洋强国; 2022 年, 党的二十大报告再次提出发展

海洋经济, 保护海洋生态环境, 加快建设海洋强国的重大部署。这些政策规划为中国海洋科技发展指明了方向, 推动着中国海洋大科学装置的系统布局 and 快速发展。
当前, 全球海洋科学技术发展已经进入一个崭新阶段, 随着卫星互联网、通遥一体星座、手机直连卫星和人工智能等技术的快速发展, 实现了信息高速公

路联通海洋,补齐了海洋大数据和海洋信息化的发展短板,而这些新兴技术与海洋大科学装置的结合将会在海洋科技装备领域引发颠覆性变革。未来的海洋科学技术发展将从各单一学科的“单打独斗”转向强调多学科、跨尺度的系统性研究;从“科学受限于技术、技术单纯服务于科学”转向科学与技术紧密合作、协同发展;从科考平台的专用化、科研数据的孤岛化转向平台公用化、数据网络化。总体而言,全球主要的海洋大科学装置具有以下发展趋势和特点。

1) 科考船面向自动化、绿色化。

现有的大科学装置型科考船主要集中于欧美等发达国家,其船型、装备和技术均处于国际领先地位。通过遥控和自主操作等方式,可实现从海面到海底等多种复杂环境下的科研调查。未来的海洋科考船将发展成多功能科研平台,不再局限于特定领域和调查范围,通过自动化操作将实现远程控制。在全球变暖的背景下,频繁的科考活动对海洋科考船在绿色环保、低碳高效、环境友好方面提出了更高的要求,“绿色船舶”将成为未来科考船一体化设计的新理念^[27]。

2) 深潜器趋向智能化、无人化。

由于受技术、造价及运行费用等因素的影响,全球范围内仅有美国、中国、日本、俄罗斯、法国拥有和运营大科学装置型潜水器。随着全球海洋科考不断向深海挺进,智能化和无人化海洋装备具有在恶劣环境中作业的明显优势,成为主要海洋国家竞相研发的热点。深潜器作为深海科考的重要装备,其主要的发展方向是实现大型载人装备技术与智能无人装备技术的结合。未来,万米级载人和无人潜水器将突破各自限制,显著提升深海探测能力和作业效率。

3) 海底观测网走向立体化、协同化。

科考船、深潜器是单点海洋科考装备,而海底观测网则可实现由海底到海面的全天候、高精度和立体化观测。目前,美国、加拿大、日本以及欧洲各国凭借在海洋领域的先发优势,均已建成并运行区域级海底观测网。随着物联网技术在海洋领域的应用,未来应通过统一、通用的数据标准整合分散在各处的观测站、观测节点、遥感卫星、无人水面艇等观测手段进行协同作业,最终形成覆盖近岸、区域及全球海域的一体化立体观测网络。

4) 海洋钻井平台倾向集成化、深海化。

欧美发达国家掌握着海洋油气勘探开发装备的设计、制造及关键件集成配套技术,特别是在装备的集成化、智能化方面形成了一定的技术垄断态势。近年来,发展中国家的崛起打破了一些发达国家对海上勘探技术的垄断局面,使得海洋钻井平台呈现多元化、多功能化发展趋势,新型钻井平台不仅拥有钻井功能,同时也具备修井、采油、起重和生活等功能。随着海洋资源开采的深海化发展,开发适合深水、超深水和极地等恶劣环境的钻井平台显得尤为重要。因此,研发和建造高附加值的半潜式、自升式和张力腿式等移动能力强、稳定性好的钻井平台将是今后重要的发展方向。

5) 海洋卫星朝向谱系化、科学化。

海洋卫星具有广阔的应用前景,可以在防灾减灾、环境保护、海洋生态、海洋维权、资源开发等诸多领域发挥重要作用。目前,美国、欧洲、日本和印度等国家和地区均已建立了比较成熟完善的海洋卫星系统,中国也初步建立了海洋卫星监测体系。自21世纪以来,海洋卫星载荷趋于系列化、多元化,海洋卫星发展逐步由追求载荷指标的先进性转向解决科学问题的有效性。未来,面向全海域、全天时、全天候、高时空分辨率的新一代海洋科学卫星将替代传统传感器以满足现有观测需求,海洋卫星发展将全面进入科学牵引、技术驱动、数据主导的新时代^[28-29]。

3 海洋大科学装置建设对中国相关工作的启示

相较于海洋强国,中国海洋大科学装置建设起步相对较晚,技术储备和人才队伍尚有不足,高端原材料、关键零部件与核心传感器方面的国产化水平有待提升,存在海洋大科学装置建设立项难度大、设施运行效率低、经费支持不稳定等问题。具体而言,在科考船方面,中国开始初步尝试船队化管理和运营,但管理架构尚不完善,各有船单位对船队决策参与度不够,共享航次执行力度有待进一步加强^[30];在深潜器方面,中国已初步形成“三龙五海”系列,已具备进入世界海洋最深处进行科考和作业的能力,目前存在载人潜水器每年下潜次数低、运营成本高等问题,而无人潜水器在使用效率、成果产出等方面与国际先进水平

仍有差距^[27];在海底观测网方面,经过10余年的发展中国已由单一海底观测系统发展至系统组网,基本达到世界先进水平,但也存在亟需突破的关键技术,如高精度、高稳定性的海洋传感器和 underwater wet plug connectors 等^[18];在海洋钻井平台方面,中国浅水钻井装备的设计建造技术基本达到国际先进水平,形成了系列化开发和完全国产化制造,但目前也存在在役的海洋钻井平台自动化、智能化水平普遍较低,适用于深水和超深水钻井作业的关键设备核心技术不够成熟、自主化程度不高等问题^[31-32];在海洋卫星方面,中国多型海洋卫星运行良好,海洋卫星组网业务化观测格局全面形成,但在卫星与地面应用系统的协同发展、量化观测和精细化应用方面仍存在技术瓶颈。

综上所述,通过梳理国外海洋大科学装置的建设现状和发展趋势,基于目前中国海洋大科学装置建设存在的问题,为加快推进中国海洋大科学装置的发展提出以下几点建议。

1) 加强顶层设计,探索建立与国际接轨的海洋大科学装置管理运营机制。

结合中国海洋科技发展战略与重大任务需求,加强制度体系内的顶层设计,实现使用权、管理权、所有权的高度分离,探索建立适合中国国情并与国际接轨的海洋大科学装置管理运营机制。采用理事会形式的管理运营机制,全面负责海洋大科学装置的建设发展、决策部署与统筹协调等;加强海洋领域现有制度体系改革,在科研布局、人才管理与成果转化等方面赋予更多自主权;明确海洋大科学装置能力建设需求,面向深水、无人、智能等方向加快推进海洋重大科技基础设施建设;尽快编制中国海洋大科学装置发展路线图,为解决海洋科技领域发展中面临的重大问题提供有力支撑。

2) 保障经费支持,积极建立长期稳定的海洋大科学装置精准资助机制。

根据中国海洋大科学装置发展路线图,合理评估海洋大科学装置建设的科学价值、需求度及紧迫性,专业论证人力、财力、管理和使用等方面的准备情况,保障海洋大科学装置建设持续推进,并给予长期稳定的经费支持。根据海洋大科学装置建设规划,提供海洋大科学装置发展专项资金,积极建立长期稳定的海洋大科学装置精准资助机制;强化海洋领域基础

研究投入,保证中央财政研发经费适当向海洋基础研究倾斜,保障国家层面海洋重大基础设施的经费支持与高效运行;加大对海洋基础研究与应用基础研究的支持力度,聚焦海洋科学装备设计研发关键技术,保障海洋大科学装置稳定运转、设备更新和升级改造的相关投入。

3) 强化产学研结合,加快建立灵活开放的海洋大科学装置人才引用机制。

基于中国海洋强国建设发展战略要求及海洋大科学装置的人才集聚效应,编制海洋人才发展战略规划,优化海洋人才梯次配备与合理布局,集聚国际顶尖海洋科技创新资源,引领海洋科技人才队伍建设健康协调发展。面向全球引进和吸引各类海洋科技人才资源,培养海洋大科学装置所需的科学、技术、工程和管理复合型领军人才,形成具有全球比较制度优势的海洋人才创新高地;组建产学研结合的新型研发机构与人才服务平台,实施海洋人才考核评价和竞争激励机制,突出评价科研成果的质量和原创价值,打破传统僵化的科研管理制度,实行科技成果混合所有制办法,构建中国海洋人才资源监测与评估体系;制定灵活合理的人才培养政策,完善海洋创新型人才流动保障机制,构建充分体现知识、技术等创新要素价值的收益分配机制,打造海洋领域具有国际影响力和国际资源吸附力的创新综合体。

4) 发挥设施潜能,持续建立健全有效的海洋大科学装置合作共享机制。

通过组建国家海洋大科学装置共享系统与服务平台,形成跨领域、跨部门的共享制度和公共服务体系,实现海洋大科学装置的开放共享、高效利用与协同合作,最大限度地发挥已有大科学装置及各类资源的潜能。探索国际合作机制,建立国家间的共商、共建、共管、共用机制,共同发起基于海洋大科学装置的全球海洋科学研究计划;构建国家级海洋大科学装置共享平台,建立统一的使用标准,明确共享范围、共享标准与共享流程,统筹安排共享单位、其他使用单位及个人的使用申请,公开发布共享计划;健全用户参与机制,形成科研院所、高校和企业等多方共建、共管和共享的局面。

5) 打造创新生态,推进建立多元自主的海洋大科学装置协同创新机制。

海洋科学具有鲜明的大科学特征,需要建设跨学科的协同创新平台实现不同主体间的多元交叉与融合,以海洋大科学装置集群带动海洋领域原始科研创新,从而支撑中国海洋科技自主创新能力的整体跃升。基于海洋领域体制机制创新,打造开放合作的创新科研组织模式,推进高校、科研院所、部门及行业等的协同创新,构建中国海洋战略科技力量协同创新体系;营造良好的创新生态开展协同攻关,实现近海-深远海-极地协同、科学-技术-产业协同、自主创新与国际合作等协同;坚持以协同创新引领海洋科技发展,促进海洋大科学装置与其他创新要素的交叉融合,推动海洋领域实现从基础研究到产业化的全链条协同创新。

参考文献 (References)

- [1] WHOI. R/V Atlantis[EB/OL]. (2010-09-06) [2023-06-28]. <https://www.whoi.edu/what-we-do/explore/ships/ships-atlantis/>.
- [2] NOC. The RRS James Cook[EB/OL]. (2006-08-31) [2023-07-02]. <https://noc.ac.uk/facilities/ships/rrs-james-cook>.
- [3] CSIRO. Research vessel (RV) Investigator Cook[EB/OL]. (2013-08-10) [2023-06-23]. <https://www.csiro.au/en/about/facilities-collections/MNF/Research-vessel-Equipment-Data/RV-Investigator>.
- [4] 宋宪仓, 杜君峰, 王树青, 等. 海洋科学装备研究进展与发展建议[J]. 中国工程科学, 2020, 22(6): 76–83.
- [5] 高峰, 王辉, 李超伦. 世界主要海洋研究机构概况[J]. 北京: 科学出版社, 2015: 22–175.
- [6] 孙月明, 李茂林, 姚忠山. 海洋调查船装备建设发展趋势研究[J]. 舰船科学技术, 2022, 44(19): 170–174.
- [7] Sagalevich A M. The role of deep submersibles in scientific research and underwater technical operations in the ocean[J]. *Marine Technology Society Journal*, 2019, 53(1): 37–42.
- [8] 杨波, 刘烨瑶, 廖佳伟. 载人潜水器: 面向深海科考和海洋资源开发利用的“国之重器”[J]. 中国科学院院刊, 2021, 36(5): 622–631.
- [9] 任玉刚, 刘保华, 丁忠军, 等. 载人潜水器发展现状及趋势[J]. 海洋技术学报, 2018, 37(2): 114–122.
- [10] WHOI. Underwater vehicles[EB/OL]. (2009-04-03) [2023-06-20]. <https://www.whoi.edu/what-we-do/explore/underwater-vehicles/>.
- [11] 吴刚, 秦琦. 中国海洋科考装备的现状分析与建设展望[J]. *前瞻科技*, 2022, 1(2): 166–182.
- [12] 张伙带, 张金鹏, 朱本铎. 国内外海底观测网络的建设进展[J]. 海洋地质前沿, 2015, 31(11): 64–70.
- [13] 禹润田, 李昊, 冯师军, 等. 潜浮标技术发展应用及展望[J]. *气象水文海洋仪器*, 2022, 39(1): 112–116.
- [14] Greenan B, Wong A, Morris T, et al. Keeping an eye on earth's oceans with Argo Robots[J]. *Frontiers for Young Minds*, 2023, 11: 943491.
- [15] 汪品先. 海洋科学和技术协同发展的回顾[J]. 地球科学进展, 2011, 26(6): 644–649.
- [16] 李风华, 路艳国, 王海斌, 等. 海底观测网的研究进展与发展趋势[J]. 中国科学院院刊, 2019, 34(3): 321–330.
- [17] 李德威, 丁忠军, 景春雷, 等. 国际海底观测网络的发展及现状[J]. *海洋开发与管理*, 2020, 37(11): 13–18.
- [18] 吕枫, 翦知湔. 海底观测网技术研究与应用进展[J]. *前瞻科技*, 2022, 1(2): 79–91.
- [19] Phil K P, Ho S H, Namkug K, et al. Development of offshore drilling platform simulation for virtual onboard experience[J]. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 2022, 14: 100431.
- [20] 王妍, 蒋建平. 浅谈海洋平台的类型及发展[J]. 山东工业技术, 2016(6): 245.
- [21] 林明森, 张有广, 袁欣哲. 海洋遥感卫星发展历程与趋势展望[J]. *海洋学报*, 2015, 37(1): 1–10.
- [22] Passaro M, Schlembach F, Oelsmann J, et al. Coastal assessment of Sentinel-6 altimetry data during the tandem phase with Jason-3[J]. *Remote Sensing*, 2023, 15: 4161.
- [23] NSTC. Science and technology for America's oceans: A decadal vision[EB/OL]. (2018-11-16) [2023-09-25]. <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2018/11/Science-and-Technology-for-Americas-Oceans-A-Decadal-Vision.pdf>.
- [24] NOC. National marine facilities (NMF) technology roadmap 2020-21[EB/OL]. [2023-09-25]. <https://noc.ac.uk/files/documents/about/ispo/COMMS1155%20NMF%20TECHNOLOGY%20ROADMAP%20202021%20V4.pdf>.
- [25] NMSC. National Marine Science Plan 2015-2025: The midway point[EB/OL]. (2021-11-01) [2023-09-25]. https://www.marinescience.net.au/wp-content/uploads/2021/08/NMSC_Midway_Point_Report_Card_FINAL_WEB_July27_2021.pdf.
- [26] 中华人民共和国国务院. 国家重大科技基础设施建设中长期规划(2012—2030年)[J]. 信息技术与信息化, 2013(2): 7–13.
- [27] 董胜, 廖振焜, 于立伟, 等. 海洋科考装备技术发展战略研究[J]. 中国工程科学, 2023, 25(3): 33–41.
- [28] 陈戈, 杨杰, 张本涛, 等. 新一代海洋科学卫星的思考与展望[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2019, 49(10): 110–117.
- [29] 汪文杰, 贾东宁, 许佳立, 等. 全球海洋遥感卫星发展综述[J]. 测绘通报, 2020(5): 1–6.

- [30] 尹希刚, 张立新, 邢国攀, 等. 中国海洋重大科技基础设施建设成效及思考[J]. 海洋科学, 2022, 46(12): 211–217.
- [31] 赵涛, 黄元元, 贾向锋, 等. 我国海洋油气钻井装备技术现状及展望[J]. 石油机械, 2022, 50(4): 56–62.
- [32] 程兵, 付强, 李清平, 等. 我国海洋油气装备发展战略研究[J]. 中国工程科学, 2023, 25(3): 13–21.

Situation of global construction of marine large-scale scientific facilities and enlightenment

WEI Yanhong¹, ZHANG Tao^{2*}, WANG Jinping^{3*}, XUE Mingmei¹, ZHENG Junwei¹

1. Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China

2. Development Research Center of China Geological Survey, Beijing 100037, China

3. Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266000, China

Abstract Ocean is an important field of scientific and technological innovation, and the significant breakthroughs in marine science and technology and the output of major marine scientific and technological achievements mainly depend on the development level of marine large-scale scientific facilities. Marine large-scale scientific facilities, as a concentrated embodiment of the level of scientific research infrastructure and equipment manufacturing capability in this field, have been highly valued by the major marine countries in the world. This paper summarizes the situation, development trends and characteristics of major marine large-scale scientific facility constructions worldwide, such as research vessels, deep submersibles, submarine observation networks, offshore drilling platforms and ocean satellites. This paper can provide reference for the construction, development, management, and operation of marine large-scale scientific facilities in China. In view of the difficulties in project approval, low operation efficiency of facilities, and unstable funding support in the construction of marine large-scale scientific facilities in China, suggestions are put forward from five aspects: strengthening top-level design, ensuring financial support, enhancing the integration of production and research, giving full play to the potential of facilities, and creating an innovative ecosystem.

Keywords marine large-scale scientific facilities; national infrastructure; marine strategy; marine science and technology ●



(责任编辑 赵庆圆)